

DROUGHTS IN NORTHEAST BRAZIL IN A SCENARIO OF CLIMATE CHANGE

SECAS NO NORDESTE BRASILEIRO DIANTE DE UM CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

JOSÉ NILSON BESERRA CAMPOS, PhD

Professor Titular

Universidade Federal do Ceará

Caixa Postal 6018

CEP 60451-970 - Fortaleza - Ceará

TICIANA MARINHO DE CARVALHO STUDART, Ms

Professor Assistente

Universidade Federal do Ceará

HENRIQUE COSTA LIMA, Bs

ABSTRACT--Northeast Brazil (NEB) is located in a region where a regular rainfall distribution should be expected. However, it has a semi-arid climate, characterized by a pronounced time and space variability in precipitation distribution. The "Drought Polygon", region that covers eighty per cent of NEB's total area (~1.5 million km²), has annual evaporation from 2400 to 3000mm and mean annual precipitation below 800mm, which is narrowly concentrated in few months. The result of these climatic adverse conditions are recurrent droughts (Secas) with serious social and economical effects: most of population of rural area are completely dependent upon agriculture and very sensitive to the phenomena; droughts in Nordeste regularly lead to famine and mass exodus. Nowadays, the world scientific community discuss climatic changes and greenhouse effect; in the scenario of global warming, an increase of evaporation should be certainly expected; in the same way, an expansion in precipitation must occur. What can happen to this Region, regarding to droughts, under a scenario of higher evaporation? How much should the precipitation increase to counterbalance it? That is the question that this paper will try to answer.

RESUMO--O Nordeste Brasileiro (NEB) está localizado em uma região onde se esperaria uma distribuição regular de precipitações. Entretanto, a região apresenta um clima semi-árido, caracterizado por uma pronunciada variabilidade espacial e temporal na distribuição de suas chuvas. O "Polígono das Secas", região que ocupa aproximadamente 80% da área total do NEB (1,5 milhões de Km²), tem evaporação anual entre 2400 e 3000mm e precipitação média anual abaixo de 800mm, concentrada em poucos meses. Os resultados dessas adversidades climáticas são secas freqüentes com sérias consequências sócio-econômicas para a Região: grande parte dos rurícolas é completamente dependente da agricultura de subsistência e, por conseguinte, muito sensível ao fenômeno; as secas trazem consigo, invariavelmente, a fome e o êxodo em massa para as grandes cidades. Atualmente, a comunidade científica internacional discute as mudanças climáticas e o "Efeito Estufa". Em um cenário de aquecimento global, um acréscimo nas taxas de evaporação certamente é esperado; por consequência, um incremento na precipitação média do globo também ocorrerá. O que acontecerá ao Nordeste, no que diz respeito às secas, em um cenário de maior evaporação? Quanto deverá crescer o total precipitado para contrabalançar esse efeito adverso? Estas são as questões que esse trabalho tentará responder.

INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico e, por conseguinte, os sistemas de recursos hídricos, são fortemente influenciados por fatores climáticos tais como: precipitação, evaporação, umidade relativa do ar e radiação solar, entre outros. O aproveitamento, pelo homem, dos recursos hídricos no Nordeste Brasileiro, se dá principalmente de duas formas:

- os recursos hídricos **localizados**, que consistem nas águas oriundas diretamente da precipitação pluvial, retidas nas camadas superficiais dos solos, que são utilizadas para a agricultura de sequeiro ou a formação de pastagens para a pecuária;
- os recursos hídricos **móveis**, formados pelas águas escoadas nos leitos do rio durante a estação úmida, após armazenadas em reservatórios superficiais, que são usadas para fins de irrigação, abastecimento humano e animal, piscicultura, etc.

No Nordeste Brasileiro, a alta variabilidade do regime pluvial, associada à fragilidade econômica da agricultura de sequeiro faz com que a população rural da Região, que depende do aproveitamento dos recursos hídricos localizados, seja altamente vulnerável à ocorrência de secas.

Ao lado, e ao largo desse cenário, muito se tem falado sobre uma prospectiva mudança climática no Planeta, como resultado das emissões de dióxido de carbono e de outros gases. Embora não haja uma certeza de como a biosfera irá responder à acumulação desses gases, grande parte da comunidade científica internacional acredita na elevação do nível dos oceanos. Um aumento médio, entre 1° e 5 °C, na temperatura do Globo é considerada provável de ocorrer nos próximos 50 anos

(Chang,L.H. , C. Hunsaker e J. Draves, 1992). Ao lado dessa idéia predominante, existe praticamente um consenso de que haverá também uma modificação no regime pluvial em muitas regiões . Contudo, a incerteza predomina quando se deseja saber se, em uma determinada região, haverá acréscimo ou decréscimo na pluviosidade média local.

Considerando esse cenário de incertezas, optou-se por estudar o efeito do aquecimento global no regime de secas no Nordeste do Brasil sob a seguinte lógica: a) adota-se um critério de seca no aproveitamento do potencial hidráulico localizado (seca agrícola); b)supõe-se uma variação da evapotranspiração de uma cultura de um determinado ciclo vegetativo e c) determina-se, para cada aumento da evapotranspiração, qual o incremento da altura de chuva anual necessária para que não haja aumento na freqüência de secas.

Busca-se responder nesse artigo a seguinte questão: se no Nordeste Brasileiro, o aquecimento global resultar em um aumento de $y \%$ na evapotranspiração, qual o aumento de chuva média anual ($x \%$), mantida a estrutura de precipitação diária, necessária para que não haja um agravamento de periodicidade das secas agrícolas?

CONCEITOS BÁSICOS

Balanço Hídrico

A equação do Balanço Hídrico para uma dada bacia hidrográfica com cobertura vegetal, uma dada capacidade de retenção de água no solo e sujeita a um regime de alimentação por precipitação pluviométrica, em um dado intervalo de tempo, pode ser dada por:

$$\Delta V = E - S \quad (1)$$

onde ΔV = variação de volume de água armazenada no solo.

E = entrada de água no sistema. Para o caso de solo sem irrigação, a entrada de água no sistema é constituída somente pela precipitação pluviométrica no período.

S = saída de água do sistema. É constituída pela soma da água retirada do sistema através da evaporação a partir da superfície do solo, das superfícies dos vegetais e dos planos de águas livres (E_s); da infiltração que fica retida nas camadas superficiais do solo e é evapotranspirada (E_t); da percolação profunda que alimenta o lençol freático (I_p); e do escoamento superficial (R).

Assim, tem-se a equação:

$$\Delta V = P - (E_s + E_t + I_p + R) \quad (2)$$

Para períodos de tempo mais longos, pode-se desprezar a variação do armazenamento ΔV , uma vez que o ciclo hidrológico é um sistema fechado sem perda ou criação de água, resumindo a equação anterior a:

$$P = (I_p + R) + (E_s + E_t) \quad (3)$$

onde o 1º termo representa o deflúvio total, porção da água que se movimenta e que pode ser aproveitada em local diverso àquele onde efetivamente ocorreu a precipitação, sendo portanto chamado de *potencial hidráulico móvel*. O 2º termo da equação, denominado *potencial hidráulico localizado*, por só permitir a sua utilização no local onde ocorreu a chuva, constitui reservatório natural de difícil gerenciamento, vez que o fenômeno do armazenamento é ditado pela dinâmica da água no solo, ficando a água apenas temporariamente disponível para a absorção pelo sistema radicular da planta.

Uma vez que, durante a estação chuvosa, períodos em que o teor de umidade no solo é superior ao ponto de murcha são intercalados por períodos em que o

mesmo solo apresenta teor de umidade igual ou inferior ao necessário para o desenvolvimento de uma certa cultura, é de imensa valia conhecer-se, pelo menos estatisticamente, a data de início e de duração dos períodos úmidos vez que esta informação pode nortear a seleção de culturas e datas de plantio adequadas, visando minimizar os efeitos da seca sobre a produção agrícola.

Ciclo Máximo Anual Contínuo de Umidade (CMACU)

Define-se como *Ciclo Máximo Anual Contínuo de Umidade* (Campos, 1984; Campos e Lima, 1992) como a duração, em dias, do maior período do ano em que o solo mantém, continuamente, umidade disponível para as culturas.

Seca Agrícola

Diz-se ocorrer uma *seca agrícola* quando a umidade do solo é exaurida, de forma a reduzir o rendimento das culturas.

CLIMATOLOGIA DO ESTADO DO CEARÁ

O curso sazonal da precipitação na maior parte do Nordeste Brasileiro é caracterizado pela concentração da pluviosidade em poucos meses, o que torna a estação chuvosa bem definida. As partes norte e central da região (onde se inclui o estado do Ceará) apresentam máxima precipitação durante março e abril. As áreas da costa leste recebem a máxima precipitação durante maio e junho, enquanto que a concentração de chuvas no setor sul ocorre de novembro a março, com um máximo em dezembro. Esta distribuição temporal e espacialmente irregular indica a existência de diferentes sistemas organizadores de convecção atuando em períodos distintos.

As variações sazonais da precipitação no Ceará parecem estar intimamente associadas às oscilações latitudinais da Zona de Convergência Intertrópical (ZCIT) sobre o Atlântico (14° N a 02° S) sendo a estação chuvosa do Estado coincidente com a posição mais ao sul que a ZCIT atinge durante os meses de março a abril. A medida que essa começa o seu retorno para o Hemisfério Norte atingindo sua máxima posição norte em agosto e setembro, o ar ascende sobre a ZCIT e descende sobre o Atlântico Subtrópical Sul, criando condições pouco propícias à formação de nuvens sobre o Estado (estação seca).

A pré-estação, período chuvoso compreendido de novembro a janeiro, está associada aos vórtices ciclônicos de altos níveis e às incursões de sistemas frontais oriundos das médias e altas latitudes na direção equatorial, além de convecção isolada. Estes vórtices são sistemas de baixa pressão em grande escala, cuja circulação ciclônica fechada caracteriza-se por baixas temperaturas em seu centro (com movimento subsidente de ar seco e frio) e temperaturas mais elevadas em suas bordas (com movimento ascendente de ar quente e úmido). Os vórtices formam-se sobre o Atlântico Sul principalmente durante o verão do Hemisfério Sul (sendo janeiro o mês de atividade máxima) e adentram freqüentemente nas áreas continentais próximas a Salvador (Ba), agindo forçante para organização da convecção sobre todo o Ceará.

A penetração das frentes frias, até o norte da região sudeste, ocasiona prolongados períodos de chuva no centro-sul da Bahia e desempenha importante papel no regime de precipitação do setor sul do Nordeste. De um modo geral, são os remanescentes desses sistemas que contribuem para criar condições dinâmicas favoráveis à convecção sobre o sul do Ceará neste período.

O comportamento da ZCIT, frentes frias e vórtices podem ainda ser modulados por sistemas de escala maior, o que explica a grande variabilidade inter-anual entre as diferentes estações chuvosas e pré-estações no Ceará. A temperatura da superfície do mar e pressão ao nível do mar na bacia do Atlântico e o aquecimento das águas do Pacífico Equatorial na costa leste da América do Sul (fenômeno El Niño) parecem influenciar sobremaneira a ocorrência de invernos e secas no Estado.

METODOLOGIA

Determinação do CMACU

O CMACU pode ser estimado através do balanço hídrico diário do solo, a partir da equação:

$$H_{i+1} = \text{MAX} (S : \text{MIN} (H_i + P_i - E_i ; 0)) \quad (4)$$

sendo H_i = teor de umidade no solo no dia i ; S = teor máximo de água disponível no solo, a nível do sistema radicular; P_i = altura de chuva diretamente precipitada sobre o solo; E_i = evapotranspiração média diária a partir de cobertura vegetal e solo.

Dispondo-se, em uma determinada localidade, de valores de precipitações diárias para um dado ano, obtém-se, através do balanço hídrico diário, períodos em que o solo se mantém úmido alternados por períodos em que o mesmo se mantém seco. O CMACU, para aquele dado ano, corresponde ao maior destes períodos, medidos em dias, de contínua umidade no solo à disposição da cultura. Estendendo-se o procedimento para os demais anos da série histórica de tamanho n , obtém-se n valores correspondentes ao CMACU.

Determinação da ocorrência de seca agrícola

Diz-se que em um dado ano ocorreu uma seca agrícola para uma cultura de duração de ciclo vegetativo DCV em um dado solo com capacidade de retenção S se, naquele ano, a duração do CMACU for inferior ao ciclo vegetativo da cultura considerada.

$$\begin{aligned} \text{SECA} &\rightarrow \text{CMACU} \geq \text{DCV} & (5) \\ \text{INVERNO} &\rightarrow \text{CMACU} < \text{DCV} \\ &(6) \end{aligned}$$

Determinação da probabilidade de ocorrência de seca

CMACU é uma variável aleatória cujos parâmetros estatísticos podem ser facilmente determinados. Ajustando-se a amostra de n valores a uma função distribuição de probabilidade conhecida, pode-se calcular a probabilidade de ocorrência de uma seca para uma cultura de ciclo vegetativo de duração DCV, como se segue:

$$\Pr \{ \text{seca} \} = \Pr \{ \text{CMACU} < \text{DCV} \} \quad (7)$$

conseqüentemente, o período de retorno da seca é:

$$\text{Tr} \{ \text{seca} \} = 1 / \Pr \{ \text{CMACU} < \text{DCV} \} \quad (8)$$

No presente trabalho séries temporais do valor do CMACU foram ajustadas à distribuição Gama para determinação da periodicidade das secas.

Determinação da referência

Na determinação de uma base de referência adotou-se o seguinte procedimento: a) a partir dos dados de uma série histórica de precipitações pluviais diárias determinou-se, através do balanço de massas, a série correspondente de CMACU's - foram simulados solos com capacidade de retenção de 80 e 120mm e ciclos vegetativos de 90 dias; b) essa nova série foi ajustada a uma distribuição gama e calcularam-se os períodos de retorno das secas; c) os valores das lâminas de evaporação diárias foram multiplicados por um fator maior que 1,0 gerando uma nova série de precipitações diárias; d) com essa nova série, através de um processo de tentativas, qual o valor a multiplicar as precipitações diárias de modo a manter o período de retorno das secas com a série de chuvas histórica. Foram traçadas as curvas mostrando: no eixo **X** o fator de multiplicação das evapotranspiração; no eixo **Y** o fator de multiplicação da evaporação que faz com que a probabilidade de ocorrência de secas não seja alterada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O balanço hídrico para a determinação das propriedades estatísticas da variável aleatória CMACU foi elaborado para um total de 3 postos pluviométricos do Ceará (Crato, Saboeiro e Fortaleza). Estudaram-se, desta maneira, três diferentes climas do Estado do Ceará: o de Crato, que representa a região do Cariri, sul do Ceará, cuja estação chuvosa é determinada por dois sistemas sinóticos distintos - as frentes frias e a ZCIT; o de Saboeiro, por sua vez, representa os sertões dos Inhamuns, região mais seca do Estado, onde o regime pluvial é devido exclusivamente pela descida da Zona de Convergência; e finalmente o de Fortaleza, que além da ZCIT, é influenciado pela proximidade do oceano.

Os resultados mostraram (Fig. 1) que, nas três localidades estudadas e nos dois tipos de solos examinados, para que não haja um incremento na frequência das secas no Nordeste Brasileiro é necessário que o aumento na pluviosidade seja superior ao aumento da taxa de evapotranspiração. Somente uma melhor repartição temporal das chuvas, que os modelos parecem não indicar, é que contrabalançariam os impactos negativos de um provável aumento na o aumento do total precipitado

REFERÊNCIAS

Chang, Lisa H., Hunsaker T. & Draves John D. "Recent Research on effects of climate change on water resources" Water Resources Bulletin. Vo 28 n. 2, American Water Resources Association. April 1992 p.273-286.

Campos, J.N.B, e Lima, H.V.C. "O início do inverno no Estado do Ceará e o dia de São José(19 de março): uma abordagem estatística. I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - Recife, PE, Nov 1992p.253-260 Anais vol. 2 335p.

Campos, J.N.B. "Um critério de seca agrícola e sua aplicação ao estado do Ceará" Boletim de Recursos Hídricos" n. 1 Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ce 1984.